

Analisis Keselamatan pada Instalasi Sistem Pembuatan dan Pengujian *Solid Propellant Double Base* dari Minyak Jarak-Jurusan Teknik Fisika UGM

M. M. Waruwu¹, Sunarno², R. Budiarto³

¹Magister Rekayasa Keselamatan Industri, Jurusan Teknik Fisika FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

¹morymw@gmail.com

^{2,3}Jurusan Teknik Fisika FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

²sunarno@ugm.ac.id

³rachmawan@ugm.ac.id

Intisari—Program teknologi pengembangan roket propelan telah dimulai di Laboratorium Sensor dan Sistem Telekontrol Jurusan Teknik Fisika UGM untuk mendukung program-program kedirgantaraan, dengan dikembangkannya rancang bangun sistem pembuatan dan pengujian *solid propellant double base* dari minyak jarak. Untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan, khususnya pada saat uji statik dan uji terbang, maka perlu dilakukan peninjauan terhadap aspek keselamatan pada saat pembuatan dan pengujian roket yang menggunakan *solid propellant double base* dari minyak jarak. Perlu dilakukan penerapan sistem keselamatan sejak tahap produksi, penyimpanan hingga uji propelan. Pada aspek analisis keselamatan (*safety*), hazard dominan teridentifikasi pada proses pencetakan yang bekerja pada suhu 30°C hingga 120 °C dan penyimpanan propelan, serta proses pengujian statik terkait bangunan uji dan alat uji. Pada aspek kesehatan (*health*), hazard teridentifikasi pada proses uji statik dimana dimungkinkan terjadinya ledakan yang menyebabkan kerusakan pendengaran, dan cedera. Pada aspek lingkungan (*enviromtent*) tidak ditemukan hazard yang dominan namun perlu diperhatikan faktor kebisingan dan kerusakan lingkungan jika kegagalan uji statik. Pertimbangan keselamatan uji modifikasi dilakukan pada tinggi bangunan ruang uji. Dengan pertimbangan tinggi semburan api propelan padat, tinggi yang semula dirancang 2,20 meter dirubah menjadi 4 meter. Pertimbangan keselamatan uji coba menuntut kekuatan dinding bangunan uji. Dinding bangunan uji dibuat rangkap dua. Dinding sisi dalam dilapis dengan anyaman kawat logam untuk meredam dampak destruktif jika terjadi ledakan akibat kegagalan uji statik.

Kata kunci— roket, propelan, uji statik, keselamatan

PENDAHULUAN

Propelan merupakan suatu senyawa kimia yang memiliki kemampuan pembangkitan energi yang tinggi sehingga dapat difungsikan sebagai bahan bakar, bahan pembangkit energi pendorong roket, maupun bahan peledak, yang sangat diperlukan dalam operasional pertahanan negara.

Program teknologi pengembangan roket propelan telah dimulai di Laboratorium Sensor dan Sistem Telekontrol Jurusan Teknik Fisika UGM untuk mendukung program-program kedirgantaraan, dengan dikembangkannya rancang bangun sistem pembuatan dan pengujian *solid propelan double base* dari minyak jarak.

Untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan, khususnya pada saat uji statik dan uji terbang, maka perlu dilakukan peninjauan terhadap aspek keselamatan pada saat pembuatan dan pengujian roket yang menggunakan *solid propelan double base* dari minyak jarak.

TINJAUAN PUSTAKA

Propelan

Propelan merupakan suatu bahan bakar yang proses pembakarannya tidak memerlukan udara (oksigen), karena kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk proses pembakaran telah terkandung dalam Propelan itu sendiri.

- 1) Berdasarkan fasa propelan dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu :
 - a) Propelan padat terdiri dari : dasar tunggal (*single base*), dasar ganda (*double base*) dan komposisi.
 - b) Propelan cair dapat dibedakan menjadi monopropelan dan bipropelan.
- 2) Berdasarkan sifat campurannya, propelan padat dapat menjadi dua macam, yaitu :
 - a) Tipe propelan padat homogen, yaitu propelan padat dengan nitroselulosa sebagai bahan dasar dalam komposisinya dan bahan lain yang pada umumnya berupa senyawa organik.
 - i. *Single base* propelan; propelan homogen dibuat dari nitroselulosa sebagai bahan utama dalam komposisinya.
 - ii. *Double base* propelan; propelan homogen dibuat dengan nitroselulosa dan nitrogliserin sebagai bahan utama dalam komposisinya.
 - iii. *Triple base* propelan; propelan homogen dibuat dengan nitroselulosa, nitrogliserin, dan nitroguanidin sebagai bahan utama dalam komposisinya. Monopropelan artinya dalam propelan tersebut telah mengandung unsur utama dalam tiap molekulnya. Bipropelan berarti bahan bakar dan oksidator terpisah dan baru akan tercampur di dalam ruang bakar.
 - b) Tipe komposisi propelan padat, yaitu suatu jenis propelan padat yang dibuat dengan mencampurkan bahan bakar dengan bahan pengikat lainnya dengan oksidator ditambah berbagai macam *additive*. *Fuel/binder* yang dipakai umumnya merupakan senyawa organik polimer tinggi (Poliviniklorida, Polibutadiena, Polisulfida, Poliuretan), sedangkan oksidatornya berupa kristal anorganik yang diserbukkan halus (50-400) mesh. *Composite solid* propelan merupakan campuran yang sifatnya ikatan fisik. [1][2]

Deskripsi Proses Produksi Propelan Padat dari Minyak Jarak

Untuk mendapatkan gliserol sebagai komponen dasar produksi propelan dapat diperoleh dari minyak jarak (*Jathropa corcas*). Proses untuk mendapatkan gliserol dari minyak jarak membutuhkan beberapa proses kimia sebagai

berikut: Minyak jarak (30°C) dipompa ke dalam *heater* sampai mencapai suhu 60°C. Methanol (30°C) beserta H₂SO₂ (30°C) sebagai katalis, keduanya dipompa ke dalam *mixer* dan diinjeksikan *steam* sampai mencapai suhu 50°C. Minyak jarak (60°C) dengan campuran dari *mixer* (methanol dan H₂SO₂) dipompa lagi ke *mixer*. Pada tahap ini, campuran tersebut diaduk dan dipanaskan mencapai suhu (60°C-70°C) kemudian dialirkan ke dalam *separator*. Dalam *separator* senyawa akan terpisah berdasarkan berat jenisnya, *biodiesel* di bawah sedangkan *methanol* dan *gliserol* di atas. *Biodiesel* akan dipompa dan didinginkan sehingga senyawa *biodiesel* terbentuk. Sedangkan untuk methanol dan gliserol dialirkan ke *evaporator*. *Methanol* akan dipompa dan dimasukan lagi ke *mixer* sehingga kebutuhan akan *methanol* dapat direduksi dengan memanfaatkan *methanol* yang ada pada *evaporator*. Sedangkan untuk *gliserol* akan dialirkan sebagai komponen dasar propelan dalam fase cair.

Selanjutnya dilakukan proses pencetakan propelan. Pada proses pencetakan propelan dilakukan dengan 2 jenis pencetakan, yaitu:

- 1) Proses pencampuran basah (*wet mixing process*); Pada proses pencampuran ini, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut: *Sucrose* dan KNO₃ dilakukan *crushing* sampai mencapai ukuran butiran 200 mesh. Gliserol cair dan *Sucrose* + KNO₃ (keluar *crusher*) dialirkan ke dalam *mixer*. Pada level ini diinjeksikan *steam* sehingga mencapai suhu sekitar 120°C. Setelah proses ini dapat dilakukan proses pencetakan propelan.
- 2) Proses pencampuran kering (*dry mixing process*); Pada proses pencampuran ini, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut: Gliserol padat, *Sucrose* dan KNO₃ dilakukan *crushing* sampai mencapai ukuran butiran 200 mesh, kemudian dimasukkan ke dalam *dryer* (bekerja pada suhu 120 °C dan tekanan 1 atm) untuk mengurangi kadar air di dalam butiran, kemudian ketiga komponen dimasukkan ke dalam *mixer* agar menghasilkan campuran yang cukup homogen, kemudian dapat dilakukan proses pencetakan propelan. [3][4][5]

Gambar 1 menampilkan fasilitas proses produksi propelan padat dengan basis minyak jarak. Sedangkan Gambar 2 menampilkan proses produksi propelan padat dengan basis minyak jarak.

Deskripsi Sistem Instrumentasi Akuisisi Data untuk Uji Statik Motor Roket

Salah satu sarana dan prasarana untuk pendukung kegiatan penelitian propulsi motor roket adalah laboratorium uji statik propulsi motor roket. Sarana untuk mendukung kegiatan uji statik antara lain: seperangkat sistem *firing* (sistem penyalu mula), unit pengolahan data, unit kalibrasi, serta sarana pengujian berupa bantalan uji (*horizontal test-bed* dan *vertical test stand*).

Untuk mendapatkan data uji statik yang tepat, akurat dan cepat, diperlukan suatu unit peralatan yang mempunyai kemampuan tinggi, yang ditunjang dengan fasilitas *hardware* dan *software* yang memadai, serta sumber daya manusia yang mampu dan berpengalaman sehingga penyimpangan hasil pengukuran dapat ditekan sekecil mungkin.

Melalui uji statik motor roket dapat diketahui kinerja dari sistem propulsi motor roket yang sedang diuji. Beberapa parameter roket yang dapat diukur langsung melalui uji statik antara lain: gaya dorong, tekanan pembakaran, waktu pembakaran dan temperatur pembakaran. Parameter lain, seperti impuls spesifik, laju pembakaran propelan dan koefisien gaya dorong dapat ditentukan dan diturunkan dari data hasil pengukuran tersebut di atas.

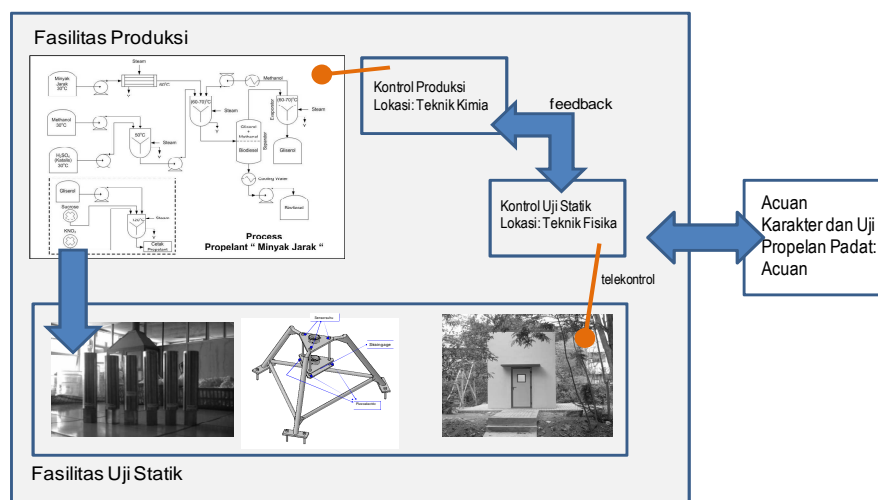
Sensor adalah merupakan bagian terdepan yang berhubungan langsung dengan parameter yang akan diukur, dan berfungsi mengubah besaran yang diukur dengan besaran listrik. Bentuk signal keluaran dari sensor beragam dan tergantung dari jenis sensor yang digunakan.

Signal input yang diperlukan oleh sistem akuisisi data memerlukan bentuk khusus. Oleh karena itu signal perlu dikondisikan, sehingga sinyal sensor tersebut mempunyai keluaran yang seragam.

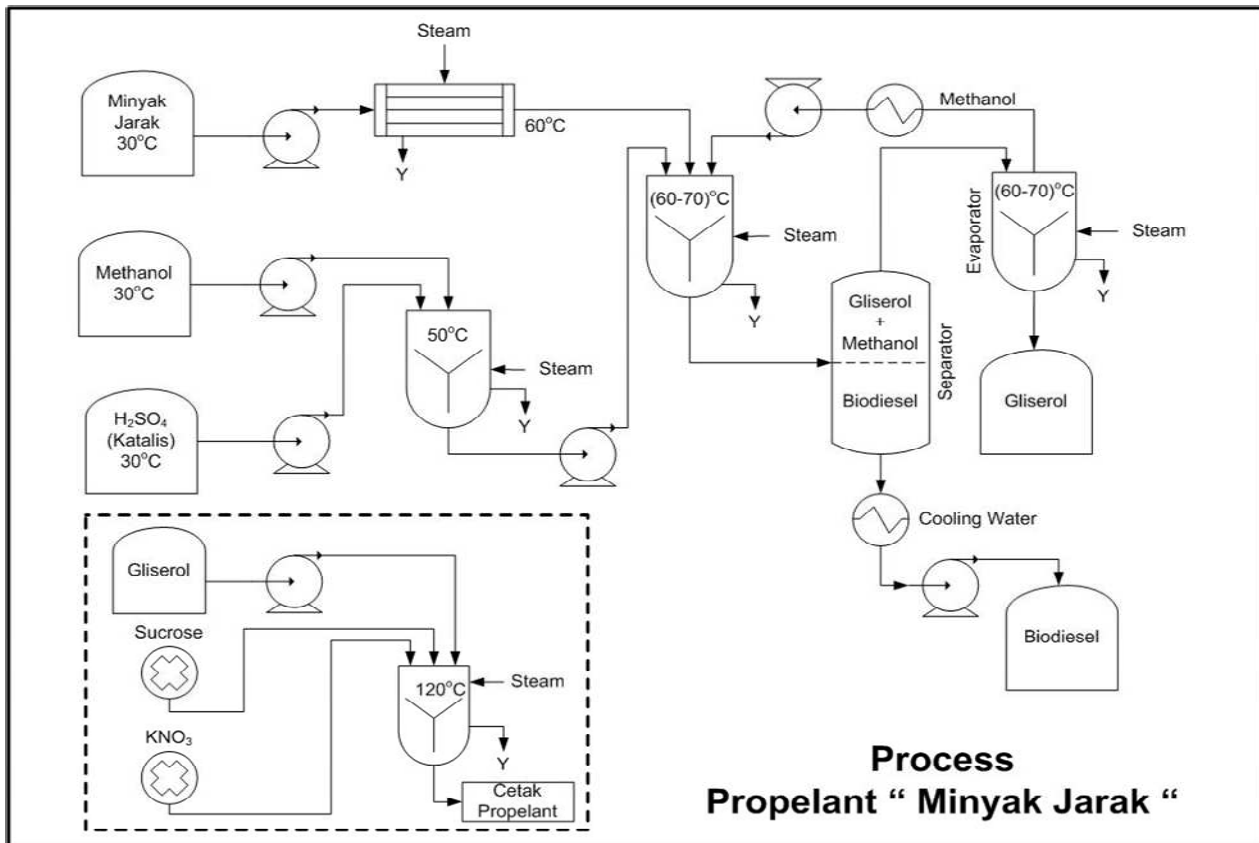
Sinyal yang keluar dari pengkondisian sinyal mempunyai bentuk analog dan jumlahnya lebih dari satu. Agar sinyal-sinyal tersebut dapat diproses oleh komputer, diperlukan suatu *interface* (antar muka). Bagian utama dari interface terdiri dari *multiplexer*, *amplifier* dan suatu *converter* untuk mengubah sistem analog menjadi sistem digital agar dapat diproses oleh komputer.

Bagian utama dari sistem akuisisi data adalah sistem pemrosesan dan perekaman data. Termasuk pada sistem ini adalah dua macam perangkat yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak.

Perangkat keras terdiri dari komputer beserta perlengkapannya. Sedangkan perangkat lunak merupakan paket program yang disusun untuk mengontrol akses data, memproses, mengeluarkan display ke monitor dan menyimpannya ke hardisk, maupun mengeluarkannya melalui printer. Parameter yang diukur dalam uji statik adalah gaya dorong, tekanan pembakaran dan waktu pembakaran.



Gambar 1 Skema Fasilitas Produksi dan Uji



Gambar 2 Proses Produksi Propelan dengan Minyak Jarak

Variabel Dalam Uji Statik Propelan

- 1) Gaya dorong (*thrust*); pengujian gaya dorong (*thrust*) dalam proses pembakaran propelan bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari propelan yang menunjukkan seberapa kuat dorongan yang dihasilkan dalam hubungannya dengan proses laju pembakaran dari propelan tersebut. Gaya dorong menjadi salah satu variabel utama dalam rancang bangun *propelan*. Yang perlu diketahui adalah seberapa besar gaya dorong dari proses pembakaran *propelan*. Diperlukan pula kurva gaya dorong terhadap waktu, yang salah satunya bisa menjelaskan apakah gaya dorong tersebut besarnya konstan selama pembakaran (*burn*) ataukah berfluktuasi [6][7].
- 2) Total impuls; meskipun gaya dorong merupakan variabel fundamental untuk mengetahui kemampuan angkat suatu roket, namun variabel ini tidak dapat mengindikasikan seberapa tinggi roket akan terangkat.
- 3) Impuls spesifik; pada bentuk dasar, impuls spesifik adalah gaya dorong yang dihasilkan setiap satuan massa propelan selama pembakaran propelan. Impuls spesifik sangat berguna untuk menentukan efisiensi propelan. Tidak selamanya gaya dorong menjadi tolak ukur suatu propelan, namun mesti dibandingkan dahulu dengan massa propelan. Suatu propelan dikatakan baik jika gaya dorong tinggi dan massa propelan rendah. Penghitungan impuls spesifik untuk mengetahui nilai sama seperti pengukuran bahan bakar mesin dalam liter per kilometer. Impuls spesifik yang dihasilkan (*actual specific impulse*), yang kemudian dibandingkan dengan impuls yang secara teoritis mestinya dihasilkan untuk mendapatkan nilai efisiensi *propelan* yang dituju.
- 4) Tekanan pembakaran; tekanan pembakaran (*chamber pressure*) adalah tekanan udara pada ruang pembakaran (*combustion chamber*) saat terjadi pembakaran propelan. Tekanan pembakaran tidak hanya berhubungan erat dengan laju pembakaran propelan dan efisiensi

termodinamik dari suatu material propelan tapi juga digunakan sebagai dasar rancangan *casing* roket agar tidak meledak karena tidak mampu menahan tekanan pembakaran.

- 5) Waktu pembakaran; waktu pembakaran merupakan lama proses pembakaran propelan. Variabel ini sangat penting untuk mengetahui apakah material suatu propelan dapat terbakar secara baik.
- 6) Suhu pembakaran; suhu pembakaran merupakan suhu pada saat pembakaran propelan. Pengukuran variabel ini paling baik jika dilakukan tepat di ujung *nozzle* roket. Namun suhu di bibir *nozzle* yang terlampaui tinggi terkadang dapat membuat sensor kehilangan sensitivitasnya. Oleh sebab itu, sebagai alternatif, pengukuran dapat dilakukan di sekitar *nozzle*. Meskipun tidak mendapat suhu yang sebenarnya dari proses pembakaran propelan tapi paling tidak bisa didapatkan tingkat fluktuasi dari suhu pada saat pembakaran.

Identifikasi Hazard

Hazard atau bahaya adalah potensi yang dimiliki oleh suatu bahan//material, pproses, atau kondisi untuk menimbulkan kerusakan atau kesakitan (kerugian).

1) *Physical hazard* (bahaya fisik); berupa berupa energi energi seperti seperti kebisingan kebisingan, radiasi radiasi, temperatur ekstrim, pencahayaan, getaran, tekanan udara, dan lain-lain.

2) *Chemical hazard* (bahaya kimia); berupa bahan kimia baik dalam bentuk gas, cair, dan padat yang mempunyai mempunyai sifat-sifat toksik toksik, beracun, iritan, asphyxian asphyxian, patologik patologik.

Risiko adalah bahaya, akibat atau konsekuensi yang dapat terjadi akibat sebuah proses yang sedang berlangsung atau kejadian yang akan datang.

Bahaya yang terkait dengan kecelakaan didefinisikan sebagai potensi untuk menimbulkan cedera pada manusia, kerusakan properti atau degradasi lingkungan. Umumnya bahaya akan menyebabkan transfer energi yang tidak diinginkan dan dapat terjadi dengan variasi random dari kondisi normal ataupun akibat dari perubahan fisik atau faktor manusia.

Perubahan yang dimaksud dapat menyebabkan bahaya dapat meliputi perubahan proses, personal, material, metode, lingkungan, peralatan atau sistem kendali. Manajemen keselamatan industri diarahkan untuk minimasi cedera atau kerugian di tempat kerja. Hal tersebut merupakan tindakan yang reaktif. Sistem manajemen keselamatan terbaik menerapkan pendekatan proaktif dengan cara pengendalian bahaya untuk minimasi kesalahan.

Bahaya muncul akibat dari transfer energi dari suatu bentuk ke bentuk lainnya. Jika transfer energi melebihi dari kapasitasnya maka bahaya kan terjadi. Beberapa bentuk energi yang dapat menimbulkan situasi bahaya dalam industri dapat dilihat dalam tabel 1 berikut.

Tabel 1 Bentuk energi dan potensi bahaya

No	Energi	Contoh Sumber Bahaya
1	Kinetik	Rotasi, vibrasi, benda jatuh
2	Potensial	Benda padat, gaya fisik, tekanan, pegas
3	Listrik	Jaringan listrik, muatan listrik statik
4	Kimia	Kebakaran, reaktif, sensitivitas, racun, eksplosif, korosif
5	Termal	Permukaan panas, logam cair, boiler, tungku
6	Akustik	Kebisingan, ultrasonik
7	Cahaya	Silau, ultraviolet, inframerah, laser
8	Radiasi pengion	Bahan radioaktif, sinar X
9	Radiasi non pengion	Gelombang elektromagnetis
10	Biologis	Mikroorganisme

IDENTIFIKASI HAZARD DAN MANAJEMEN RISIKO

Pengujian dilakukan pada fasilitas uji statik yang berada pada ruang terbuka di Ruang uji dibangun sisi belakang areal Jurusan Teknik Fisika UGM. Aspek-aspek yang ditinjau meliputi pengaruh yang mungkin timbul apabila terjadi kegagalan uji coba, baik kegagalan penyalaan mula, kegagalan karena kesalahan struktur, kegagalan karena terjadinya ledakan. Selain itu juga ditinjau perancangan susunan alat dan bangunan untuk mengurangi risiko kecelakaan.

A. Aspek Keselamatan Proses Produksi Propelan Padat dari Minyak Jarak

Pada proses produksi propelan padat dari minyak jarak yang telah dilakukan teridentifikasi hazard seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Preliminary Hazards List Analysis Proses Produksi Propelan

Sistem : Proses Produksi Gliserol

No	Item	Hazard	Penyebab	Akibat	Risiko	Mitigasi	Keterangan
1	Pompa: Pemompaan minyak jarak ke heater	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pemompaan gagal	-	Penggunaan listrik stabil/ UPS	-
2	Heater : Pemanas minyak jarak (suhu 30° sd 60° C)	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pemanasan gagal	-	Penggunaan listrik stabil/ UPS	-
3	Pompa : Katalis berupa methanol (30° c) beserta H ₂ SO ₂ (30° c) ke mixer	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pemompaan gagal	-	Penggunaan listrik stabil /UPS	-
4	Mixer : Minyak jarak dan katalis	Elektrikal , elektronik	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pengadukan gagal	-	Penggunaan listrik stabil/ UPS	-
5	Heater : Minyak jarak dan katalis (ke suhu 70° C)	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pemanasan gagal	-	Penggunaan listrik stabil/ UPS	-
6	Separator	Mekanik	Jatuh, pecah	Separasi gagal, (biodiesel dan methanol & gliserol masih tercampur)	-	Penggunaan separator handal	-
7	Evaporator : Methanol & gliserol	Mekanik	Jatuh, pecah	Separasi methanol & gliserol gagal	-	Penggunaan evaporator handal	-

Tabel 3. Preliminary Hazards List Analysis Proses Produksi Propelan

Sistem : Proses Pencetakan Propelan (Proses Pencampuran Basah (*wet mixing process*))

No	Item	Hazard	Penyebab	Akibat	Risiko	Mitigasi	Ket.
1	Crushing sucrose dan KNO ₃ : Sampai ukuran 200 mesh	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Ukuran tidak merata	-	Penggunaan listrik stabil/ UPS	Waspadalah suhu 120° C
2	Mixer & heater : Gliserol dan sucrose dan KNO ₃ (suhu 120° C)	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pengadukan dan pemanasan gagal	-	Penggunaan listrik stabil /UPS	
3	Cooler dan storage (<i>freezer</i>)	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pendingan gagal/ledakan jika panas berlebih	Death/injury dan kerusakan sekitar bahan	Penggunaan listrik stabil/UPS	
4	Cooler dan storage (manual)	Fisika	Pengisian dalam suhu ekstrim tinggi	Ledakan		Suhu lingkungan tidak boleh tinggi	
5	Cetak propelan/isi	Mekanik/manual	Jatuh, pengisian tidak sempurna	Ledakan	Death/injury	Pengkondisian suhu	

Tabel 4. *Preliminary Hazards List Analysis* Proses Produksi Propelan

Sistem : Proses Pencetakan Propelan

Sub Sistem : Proses Pencampuran Kering (*dry mixing process*)

No	Item	Hazard	Penyebab	Akibat	Risiko	Mitigasi	Ket.
1	Crushing gliserol padat, sucrose dan KNO ₃ : Sampai ukuran 200 mesh	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Ukuran tidak merata		Penggunaan listrik stabil UPS	Waspada suhu 120° C
2	<i>Dryer</i> : Gliserol dan sucrose dan KNO ₃ (bekerja pada suhu 120 °C dan tekanan 1 atm)	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pengadukan dan mengurangi kadar air di dalam butiran gagal		Penggunaan listrik stabil UPS	
3	Mixer : Gliserol dan sucrose dan KNO ₃	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Tidak homogen		Penggunaan listrik stabil UPS	
4	Cooler dan storage (<i>freezer</i>)	Elektrikal	Voltase tidak stabil, listrik padam	Pendingan gagal/ledakan jika panas berlebih	<i>Death/injury</i> dan kerusakan sekitar bahan	Penggunaan listrik stabil UPS	
5	Cooler dan storage (manual)	Fisika	Pengisian dalam suhu ekstrim panas	Ledakan	<i>Death/injury</i> dan kerusakan sekitar bahan	Suhu lingkungan sekitar harus rendah	
6	Cetak propelan/isi	Mekanik/manual	Jatuh, pengisian tidak sempurna	Ledakan	<i>Death/injury</i>	Suhu lingkungan sekitar harus rendah	
7	Cetak propelan/isi	Fisika	Pengisian dalam suhu ekstrim panas	Ledakan	<i>Death/injury</i> dan kerusakan sekitar bahan	Suhu lingkungan sekitar harus rendah	

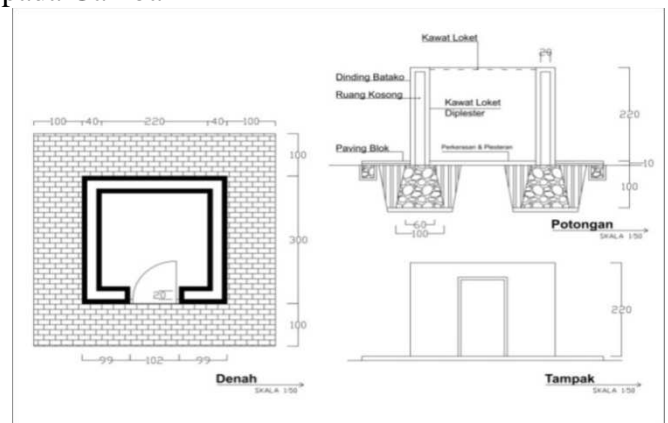
A. Aspek Keselamatan Instalasi Bangunan uji

Fasilitas tripod uji statik akan dipasang dalam suatu bangunan uji yang dioperasikan melalui mekanisme telekontrol dari ruang kendali di Jurusan Teknik Fisika UGM. Gambar 3 memperlihatkan gambar rancangan bangunan uji tersebut. Ruang uji dibangun sisi belakang areal Jurusan Teknik Fisika.

Pertimbangan keselamatan uji modifikasi dilakukan pada tinggi bangunan ruang uji. Dengan pertimbangan tinggi semburan api propelan padat, tinggi yang semula dirancang 2,20 m dirubah menjadi 4 m.

Pertimbangan keselamatan uji coba menuntut kekuatan dinding bangunan uji. Dinding bangunan uji dibuat rangkap dua. Dinding sisi dalam dilapis dengan anyaman kawat logam untuk meredam

dampak destruktif jika terjadi ledakan akibat kegagalan uji statik. Sementara itu, bangunan ini dilengkapi dengan pintu besi dengan lobang tempat pengambilan gambar. Hal-hal tersebut ditampilkan pada Gambar 4



Gambar 3 Rancangan bangunan uji



Gambar 4 Bangunan uji



Gambar 5 Perkuatan Anyaman



Gambar 6 Tembok Lapis Dua

Hazard pada Proses Pengujian Statik Motor Roket

Pengujian statik motor roket merupakan bagian dari siklus pelaksanaan penelitian sistem propulsi motor roket. Untuk dapat melaksanakan sistem pengujian statik yang standar, efisien pelaksanaan dan akurat sistem pengukurannya, dibutuhkan suatu perangkat yang memadai, manajemen sistem pengujian yang tepat dan prosedur kerja yang efektif dan efisien.

Sesuai rencana, tripod uji statis harus difungsikan di dalam bangunan uji. Semua sensor akan tergabung dalam sistem telekontrol di ruang lain yang difungsikan sebagai ruang kendali. Uji coba instalasi telah dilakukan untuk melakukan berbagai penyesuaian dalam hal-hal utama: tata letak alat uji di bangunan uji, sensor, dan instrumen telekontrol.



Gambar 7 Instalasi di Ruang Uji



Gambar 8. Pengujian propelan

Tabel 5. *Preliminary Hazards List Analysis* Proses Uji Propelan

Sistem : Uji statik

No	Item	Hazard	Penyebab	Akibat	Risiko	Mitigasi	Keterangan
1	Penyalan mula	Elektrik	Tidak ada aliran listrik, kabel putus	Pengujian gagal			Operator/ <i>audience</i> harus jauh dari lokasi uji dan menggunakan alat pelindung diri
2	Roket mini (isi propelan)	Mekanik	Terjadi ledakan	Roket rusak, pecah	Tripod rusak, bangunan rusak, <i>death/injury</i>	Bahan roket mini harus kuat memiliki titik lebur tinggi	
3	Tripod uji	Mekanik	Tidak kokoh menahan dorongan, patah, terjadi ledakan	Pecah, roket mini lepas	Tripod rusak, bangunan rusak, sistem rusak, <i>death/injury</i>	Bahan roket mini harus kuat memiliki titik lebur tinggi	
4	Bangunan uji	Mekanik	Terjadi ledakan	Dinding bangunan rusak	Bangunan rusak, sistem rusak	Bangunan permanen, dinding yang memiliki anyaman kawat dan berlapis	
6	Proses uji	Fisika	Suhu lingkungan ekstrem	Terjadi ledakan	Tripod rusak, bangunan rusak, <i>death/injury</i>	Bahan roket mini harus kuat memiliki titik lebur tinggi	
		Fisika	Suara ledakan keras	Terjadi ledakan	Kerusakan alat dengar	Menggunakan <i>earphone</i>	
		Fisika	Lidah api terlalu panjang	Kebakaran	Kerusakan bangunan	Tinggi bangunan harus disesuaikan (2,20 m dirubah menjadi 4 m)	

PENUTUP

Perlu dilakukan penerapan sistem keselamatan sejak tahap produksi, penyimpanan hingga uji propelan pada instalasi sistem pembuatan dan pengujian *solid propellant double base* dari minyak Jarak Jurusan Teknik Fisika UGM.

- 1) Pada aspek analisis keselamatan (*safety*), hazard dominan teridentifikasi pada proses pencetakan yang bekerja pada suhu 30°C hingga 120 °C dan penyimpanan propelan, serta proses pengujian statik terkait bangunan uji dan alat uji.
- 2) Pada aspek kesehatan (*health*), hazard dominan teridentifikasi pada proses uji statik dimana kemungkinan terjadinya ledakan menyebabkan kerusakan pendengaran dan cedera.
- 3) Pada aspek lingkungan (*enviromtment*), tidak teridentifikasi hazard dominan namun perlu diperhatikan faktor kebisingan dan kerusakan lingkungan jika kegagalan uji.
- 4) Pertimbangan keselamatan uji modifikasi dilakukan pada tinggi bangunan ruang uji. Dengan pertimbangan tinggi semburan api propelan padat, tinggi yang semula dirancang 2,20 m dirubah menjadi 4 m. Pertimbangan

keselamatan uji coba menuntut kekuatan dinding bangunan uji. Dinding bangunan uji dibuat rangkap dua. Dinding sisi dalam dilapis dengan anyaman kawat logam untuk meredam dampak destruktif jika terjadi ledakan akibat kegagalan uji statik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Peneliti Propelan Jurusan Teknik Fisika UGM.

REFERENSI

- [1] Propellant Manufacture, Hazard and Testing. American Society. Washington DC. 1969.
- [2] A.B.B. Noberkut., Analytical Methods for Power and Explosives, Sweden. 1974.
- [3] Supranto, Tawfiequrrachman, Yunanto, D.E. dan Gunaryo, 2008, "Pembuatan Gliserin dalam Rangka Pengembangan Propelan Berbasis Material Nabati", Seminar Klaster Riset UGM 26 Agustus 2008.
- [4] Supranto, 2008, *Laporan Kemajuan Riset Pengembangan Propelan Berbasis Material Nabati*, KMNRT, 2008.
- [5] Budiarto, R., Sunarno, Supranto, 2010, *Laporan Penelitian Rancang Bangun Sistem Pembuatan dan Pengujian Solid Propelan Double Base dari Minyak Jarak*, KMNRT, 2009.
- [6] Kubota, N., 1984, Survey of Rocket Propellants and Their Combustion Characteristics, *Fundamentals of Solid-Propellant Combustion*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Broadway
- [7] Nakka, R., 1984, *Solid Propellant Rocker Motor Design and Testing*, The University of Manitoba